

**Радіотехнічні кола та сигнали. Обчислювальні методи в радіoeлектроніці****ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОБРОБКИ РАДІОСИГНАЛІВ**

**Фаттахов Ілля Фавільович, студент**  
**КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна**

Проведені експерименти по дослідженню характеристик і порівняльний аналіз (табл. 1) класифікатора RTC (класифікатор з випадковим порогом) з класифікаторами NNC (класифікатор з алгоритмом навчання за правилом найближчого сусіда), ВРА (Класифікатор зворотного поширення помилки), PFC (класифікатор з використанням потенційних функцій) і інші.

Таблиця 1 – Порівняння нейромережевих класифікаторів для задачі розпізнавання сигналів

№ Параметра	Найменування параметру критерія, $Q_{eff}$	Значення вагових коеф., $A_i$	Тип моделі нейроподібної мережі					
			ВРА	RTC	PFC	ART	Hopfield	NNC
1	Помилка класифікації, $P_{err}(\%)$	10	7±3%	<1%	<1%	6...10 %	8...10 %	3±1%
2	Обсяг навчальної вибірки, $D_{trn}$	200	≤2,5×10 <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	20×10 <sup>2</sup>
3	Час навчання, $T_{trn}$ (в циклах)	200	10 <sup>2</sup> ...10 <sup>4</sup>	4...14	4...14	60	80	50
4	Час класифікації, $T_{cls}$ (в циклах)	10	1...3	3...8	3...6	1	1	1
5	Максимальна кількість класів, $N_{cls}$	-	≤20	10 <sup>2</sup>	50	4	20	256
6	Кількість нейронів, $N_{neп}$	-	480×32× $N_{cls}$	240...10 <sup>5</sup>	2 <sup>11</sup>	64	256	2048
7	Кількість зв'язків, $Q_{eff}$	-	15360× $N_{cls}$	30×2 <sup>12</sup> × $N_{cls}$	2 <sup>13</sup>	2 <sup>8</sup>	2 <sup>12</sup>	2 <sup>11</sup>
8	Обсяг пам'яті для зберігання, $Q_{eff}$	20	2 <sup>9</sup> Байт	2 <sup>11</sup> Байт	6×2 <sup>10</sup> Байт	2 <sup>8</sup> Байт	2 <sup>12</sup> Байт	2 <sup>11</sup> Байт
9	Характеристика завад	12	≤27%	≤50%	≤37 %	≤41%	≤46%	≤10%
10	Значення критерія $Q_{eff}$	-	363	1691	1300	399	375	612
11	Посилання на літературу	-	[1, 2]	[ ]	[3]	[4]	[5]	[6]

Це дозволяє стверджувати, що класифікатор RTC:

- за якістю класифікації при величині навчальної вибірки понад 250 перевершує на 3% класифікатор NNC, на 7% класифікатор ВРА і поступається на 3% класифікатором PFC;
- за якістю класифікації при розмірності простору ознак більше 16

- перевершує класифікатор NNC в 1,37 рази, ні в чому не поступаючись класифікатором ВРА і класифікатору PFC;
- за якістю класифікації залежно від складності поділяють поверхонь перевершує класифікатор NNC в 1,14 ... 1,8 рази, класифікатор ВРА в 1,12 рази, поступається класифікатором PFC в 1,12 рази;
  - за часом розпізнавання при розмірах навчальної вибірки понад 250 перевершує класифікатор ВРА і класифікатор NNC в 1,5 ... 200 разів, при цьому не поступаючись класифікатором PFC по швидкості розпізнавання;
  - за часом розпізнавання при зміні простору ознак від 2 ... 16 перевершує класифікатор PFC в 27 разів, класифікатор NNC в 14,7 раз, нема в чому при цьому не поступаючись класифікатором ВРА;
  - за часом розпізнавання в залежності від складності поділяють поверхонь перевершує класифікатор NNC в 6,7 рази, поступається класифікатором PFC в 8,7 рази, ні в чому не поступаючись класифікатором ВРА;
  - за часом навчання при розмірах навчальної вибірки більше 4000 перевершує класифікатор ВРА в 4 рази, класифікатор NNC в 1,75 раз, при цьому поступається класифікатором PFC по швидкості навчання на обсягах навчальної вибірки більше 1000 в 1,1 ... 2 рази;
  - за часом навчання при зміні простору ознак від 2 ... 16 перевершує класифікатор PFC в 4,5 рази, класифікатор NNC в 2,8 рази, класифікатор ВРА при малих розмірах ознак в 18 разів, а при збільшенні розміру ознак більше 16 в 1,35 рази;
  - за часом навчання в залежності від складності поділяють поверхонь перевершує класифікатор NNC в 2 рази, класифікатор PFC в 2,75 рази, класифікатором ВРА в 6,9 рази;

Отримані результати свідчать, що за якістю розпізнавання класифікатор на основі нейронної мережі з випадковими порогами (RTC) лише незначно поступається класифікатором з використанням потенційних функцій (PFC), перевершуючи за тимчасовими показниками класифікатор з алгоритмом навчання за правилом найближчого сусіда (NNC) і модифікований класифікатор з алгоритмом навчання зворотного поширення помилки (ВРА). За швидкістю розпізнавання класифікатор RTC на основі нейронної мережі з випадковими порогами є лідером. За часом навчання класифікатор на основі нейронної мережі з випадковими порогами значно краще, ніж класифікатор з використанням потенційних функцій, модифікованого нейромережевого класифікатора з алгоритмом навчання зворотного поширення помилки і класифікатора з алгоритмом навчання за правилом найближчого сусіда.

Таким чином, класифікатор на основі нейронної мережі з випадковими порогами має значно кращі характеристики, ніж інші класифікатори. Це обумовлено його архітектурою (навчальні зв'язки розташовані в одному

шарі та розподілене груботочне кодування), а також простотою і високою швидкістю логічних операцій та обчислень із цілими числами. Отже високоефективні засоби апаратної підтримки цього класифікатора можуть бути досить простими і недорогими.

#### **Перелік посилань**

1. Галуєв Г.А. Паралельна цифрова нейрокомп'ютерна реалізація нейронних мереж, яких навчають методом зворотного поширення помилки //Електрон. Моделювання. Т. 14, №6,1992. С. 14-19.
2. Werbos P.J. Backpropagation through time: what it does and how to do it //Proceedings of the IEEE, vol. 78, №10, October, 1990, R 1550-1560.
3. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен //Пер. с англ. под ред. В.Л. Стефанюка. М.: Мир, 1976. 511 с.
4. Ращенко Ю. В. Разработка модифицированных алгоритмов обучения для нейронной сети адаптивной резонансной теории // Санкт-Петербургский государственный университет – 2016
5. Kussul E.M., Baidyk T.N., Lukovich V.V, and Rachkovskij D.A. Adaptive high performance classifier based on random threshold neurons. Report accepted for publication in the Proceedings of Twelfth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR'94). vol. III, 1994. R 1819-1824.
6. Григорьев В.Р., Кузнецов А.В., Цветков СИ. Возможности использования нейросетевых методов в системах связи // Международная конференция: "Информатизация правоохранительных систем". М.: Академия управления МВД России. Тезисы докладов, ч.1,1997. С. 73-75.

#### **Анотація**

Проведений порівняльний аналіз методів обробки радіосигналів на основі нейронних мереж.

**Ключові слова:** нейронна мережа, розпізнавання.

#### **Аннотация**

Проведенный сравнительный анализ методов обработки радиосигналов на основе нейронных сетей.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, распознавания.

#### **Abstract**

A comparative analysis of radio signal processing methods based on neural networks.

**Keywords:** neural network, recognition.